**Nazwa przedmiotu:**

Tomografia Komputerowa

**Koordynator przedmiotu:**

prof. ucz. dr hab. inż. Waldemar Smolik

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny dowolnego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia II stopnia

**Program:**

Inżynieria Biomedyczna

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty zaawansowane specjalności (Aparatura Medyczna) – obieralne

**Kod przedmiotu:**

TOM

**Semestr nominalny:**

2 / rok ak. 2020/2021

**Liczba punktów ECTS:**

4

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):
1. liczba godzin kontaktowych – 62 godz., w tym
obecność na wykładach 30 godz.,
obecność na laboratorium 30 godz.,
obecność na egzaminie 2 godz.
2. praca własna studenta – 58 godz., w tym
przygotowanie do laboratorium 18 godz.,
przygotowanie do egzaminu 40 godz.

Łączny nakład pracy studenta wynosi 120 godz., co odpowiada 4 pkt. ECTS.

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

2,07 pkt. ECTS, co odpowiada 62 godz. kontaktowym.

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

1,60 pkt. ECTS w tym 30 godz. zajęć laboratoryjnych plus 18 godz. przygotowania do laboratoriów

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 0h |
| Laboratorium:  | 30h |
| Projekt:  | 0h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Wymagana jest znajomość algebry i analizy na poziomie akademickim, umiejętność programowania w stopniu umożliwiającym implementację prostych algorytmów.

**Limit liczby studentów:**

60

**Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z metodami rekonstrukcji obrazów z projekcji oraz metodami akwizycji, wizualizacji i przetwarzania danych obrazowych stosowanymi w tomografii komputerowej.

**Treści kształcenia:**

Wykład:

1. Wstęp. Wprowadzenie do tomografii komputerowej. Obrazowe techniki diagnostyczne. Historia tomografii: tomografia klasyczna i komputerowa. Podstawowe pojęcia: projekcja, sinogram, rekonstrukcja obrazów z projekcji, problem odwrotny. Przegląd technik tomograficznych. Obszary zastosowań.
2. Analityczny opis projekcji tomograficznych. Transformacja Radona. Operator wstecznej projekcji. Twierdzenie o projekcji. Twierdzenie o zamianie zmiennych w całce podwójnej. Jakobian. Odwrotna transformacja Radona. Filtrowana projekcja wsteczna. Filtr |R| i jego własności. Twierdzenia o splocie. Splatana projekcja wsteczna. Twierdzenie o wstecznej projekcji. Odwrotna transformacja Radona z 2W transformacją Fouriera.
3. Dyskretna transformacja Radona. Algorytm filtrowanej projekcji wstecznej. 1W filtracja sinogramu. Własności dyskretnej transformacji Fouriera. Rozszerzanie sinogramu. Funkcje okna filtru tomograficznego. Interpolacja w projekcji wstecznej. Widmo gęstości mocy. Filtracja dla danych zaszumionych. Funkcja przenoszenia modulacji. Koncepcja filtracji adaptacyjnej i optymalnej.
4. Algebraiczny model projekcji tomograficznych. Dyskretyzacja i interpolacja. Rekonstrukcja obrazu z projekcji jako rozwiązanie problemu liniowego. Problem odwrotny źle postawiony. Model liniowy nadokreślony, niedookreślony. Liniowe zadanie najmniejszych kwadratów. Pseudoodwrotność. Rozwiązanie o minimalnej normie. Algebraiczne metody bezpośrednie i iteracyjne.
5. Relaksacyjne metody rozwiązywania układów równań liniowych. Metoda Kaczmarza. Minimalizacja entropii i algorytmy multiplikatywne. Optymalizacja średniokwadratowa metodą gradientową. Algorytmy gradientowe. SIRT, SART. Metoda średniokwadratowa ważona. Problem odwrotny źle uwarunkowany numerycznie. Regularyzacja. Metoda: Tikchonova, TSVD. Metody automatycznego doboru wartości parametru regularyzacji. Metoda krzywej-L.
6. Statystyczne metody rekonstrukcji obrazu z projekcji. Metoda największej wiarygodności. Maksymalizacja funkcji wiarygodności metodą Monte-Carlo. Statystyczny model pomiaru projekcji w tomografii emisyjnej. Model danych niekompletnych. Dane obserwowalne i nieobserwowalne. Metoda maksymalizacji wartości oczekiwanej. Iteracyjny algorytm ML-EM. Bayesowski model projekcji tomograficznych. Maksymalizacja prawdopodobieństwa a posteriori.
7. Rentgenowska tomografia transmisyjna. Generacja i detekcja promieniowania X. System pomiarowy, tomografy trzeciej generacji i EBCT. Tomografia helikalna i z wiązką stożkową (CBCT). Narażenie na promieniowanie jonizujące. Akwizycja i korekcja danych. Numeryczny model pomiarowy. Metody rekonstrukcji obrazów dla akwizycji helikalnej. Algorytm Feldkampa.
8. Metody oceny jakości obrazów tomograficznych. Podstawowe pojęcia i definicje. Rodzaje fantomów fizycznych. Standaryzacja. Fantom głowy Shepp’a-Logan’a. Wizualizacja obrazów tomograficznych. Skala Hounsfielda. Pseudokolorowanie. Dobór kontrastu i jasności za pomocą „okienkowania”. Wielopłaszczyznowa rekonstrukcja przekrojów. Projekcje „radio” i projekcje maksimum intensywności.
9. Tomografia emisyjna jednofotonowa. Izotopy i znaczniki izotopowe. Budowa gamma-kamery obrotowej. Dwuwymiarowa projekcja równoległa. Efekty fizyczne wpływające na jakość danych. Statystyka danych. Osłabianie promieniowania. Metody korekcji osłabiania promieniowania: Sorenson, Chang. Numeryczny model pomiaru projekcji. Iteracyjne algorytmy rekonstrukcji obrazów. Kryterium zatrzymania obliczeń jako regularyzacja.
10. Tomografia emisyjna pozytonowa. Podstawy fizyczne. Detekcja koincydencyjna i kolimacja elektroniczna. Budowa tomografu PET. Ograniczenia rozdzielczości przestrzennej. Linie odpowiedzi. Akwizycja danych 2D i 3D. Model pomiaru projekcji. Rekonstrukcja trójwymiarowa. Statystyczne metody rekonstrukcji. Iteracyjny algorytm ML-OS. Korekcja danych: osłabianie promieniowania, zdarzenia przypadkowe i rozproszone.
11. Tomografia NMR. Zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego w ujęciu kwantowym i makroskopowym. Wektor magnetyzacji. Częstotliwość precesji Larmora. Czasy relaksacji. Gęstość protonowa. Gradientowe pole magnetyczne i kodowanie przestrzenne. Metoda czułego punktu. Obrazowanie z użyciem wstecznej projekcji. Kodowanie częstotliwością i fazą. Fourierowska rekonstrukcja obrazów. Sekwencje pomiarowe: „spin-echo”, „echo-planar”. Obrazowanie dynamiczne.
12. Elektryczna tomografia pojemnościowa. Numeryczny model pomiarowy liniowy i nieliniowy. Metody wyznaczania rozkładu pola elektrycznego w sondzie tomograficznej. Metoda różnic skończonych, metoda objętości skończonych. Macierz wrażliwości. Rekonstrukcja liniowa: pseudoodwrotność, zlinearyzowana projekcja wsteczna, iteracyjny algorytm Landwebera. Rekonstrukcja nieliniowa: metoda Gaussa-Newtona. Regularyzacja. Metoda Levenberga-Marquardta. Rekonstrukcja obrazów za pomocą sieci neuronowych.
Ćwiczenia: brak

Laboratorium:
Celem laboratorium jest przekazanie studentom umiejętności wykonywania symulacji numerycznych i implementacji algorytmów rekonstrukcji obrazów. Studenci realizują zadania w języku C i w języku Matlab. W ramach laboratorium studenci zapoznają się z wybranymi technikami tomograficznymi. Praktycznie zapoznają się z urządzeniami tomograficznymi, przeprowadzają pomiary i opracowują wyniki w komputerowych systemach analizy obrazów. Ćwiczenia laboratoryjne obejmują symulacje projekcji tomograficznych, praktyczne pomiary tomograficzne fantomów fizycznych, algorytmy rekonstrukcji obrazów oraz metody wizualizacji obrazów tomograficznych. Tematyka ćwiczeń:
 Symulacja numeryczna danych tomograficznych (projekcji) dla fantomu matematycznego głowy z uwzględnieniem szumu.
 Implementacja wybranego algorytmu rekonstrukcji obrazów z projekcji. Badanie właściwości algorytmu.
 Pomiary w tomografii rentgenowskiej.
 Metody prezentacji i przetwarzania obrazów w tomografii rentgenowskiej.
 Zjawisko rezonansu magnetycznego, metody pobudzenia, sygnał odpowiedzi (FID), kodowanie przestrzeni częstotliwością i fazą.
 Pomiary w elektrycznej tomografii pojemnościowej.
Projekt: brak

**Metody oceny:**

egzamin pisemny,
Zadania laboratoryjne,
ocena aktywności podczas zajęć

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

1. R. Cierniak, "Tomografia komputerowa. Budowa urządzeń CT. Algorytmy rekonstrukcyjne", Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2005
2. F. Jaroszyk, "Biofizyka", PZWL, Warszawa 2002
3. J. W. Hennel, Podstawy teoretyczne tomografii magnetyczno-rezonansowej. Toruń: Wyd. Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, 1999
4. J. Sikora, "Algorytmy numeryczne w tomografii impedancyjnej i wirowoprądowej", Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000
5. S.F. Filipowicz, T. Rymarczyk, "Tomografia impedancyjna. Pomiary, konstrukcje i metody tworzenia obrazu", BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2003
6. W. Smolik, Materiały do wykładu , https:\\studia.elka.pw.edu.pl
7. A. C. Kak, M. Slaney, "Principles of Computerized Tomographic Imaging", IEEE Press, IEEE Inc., 1988 (electronic copy (c) A. C. Kak, M. Slaney)
8. Cierniak R. X-Ray Computed Tomography in Biomedical Engineering: Springer-Verlag; 2011.
9. Kalender WA. Computed Tomography. Fundamentals, System Technology, Image Quality, Applications 3rd ed. Erlangen: Publicis Publishing; 2011
10. M. T. Buzug, Computed Tomography: From Photon Statistics to Modern Cone-Beam CT: Springer, 2008.
11. M. N. Wernick and J. N. Aarsvold, Emission Tomography. The Fundamentals of PET and SPECT.: Elsevier Inc., 2004
12. G.T. Herman (editor), "Image reconstruction from projections, implementation and applications", Springer-Verlag, 1979
13. G.T. Herman, "Image reconstruction from projections, The fundamentals of computerized tomography", Academic Press, 1980
14. Herman G., Kuba A. (eds.) Advances in discrete tomography and its applications, Birkhauser, 2007, ISBN 0817636145
15. F. Natterrer, "The mathematics of computerized tomography", John Wiley & Sons Ltd, 1986
16. Berryman J.G. Nonlinear Inversion and Tomography, LN, MIT, 1991
17. Bertero M., Boccacci P. Introduction to Inverse Problems in Imaging, IOP, 1998
18. Z.H. Cho, J.P. Jones, M. Singh, "Foundation of Medical Imaging", John Wiley & Sons Inc, 1993
19. C.N. Chen, D.I. Hoult, "Biomedical Magnetic Resonance Technology", IOP Publishing Ltd, 1989
20. A.E. Todd-Pokropek, M.A. Viergever, "Medical Images: Formation, Handling and Evaluation", Springer-Verlag, 1992
21. P. Grangeat, Tomography, ISTE Ltd, 2009
22. G. L. Zeng, Medical Image Reconstruction. A Conceptual Tutorial, Springer, 2010
23. D. S. Holder, Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications Institute of Physics, 2004
24. D. Sankowski i J. Sikora: editors, Electrical capacitance Tomography, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2010, ISBN 978-83-61956-00-6
25. A. Kirsch, An Introduction to the Mathematical Theory of Inverse Problems, 2nd ed.: Springer, 2011.
26. Bui A., Taira R.K. (eds.) Medical imaging informatics, Springer, 2010, ISBN 1441903844
27. S. Smith, Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists,

**Witryna www przedmiotu:**

brak

**Uwagi:**

brak

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka TOM\_W01:**

zna pojęcia i zagadnienia występujące w tomografii komputerowej

Weryfikacja:

egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_02, W\_03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, I.P7S\_WK, III.P7S\_WG, III.P7S\_WK

**Charakterystyka TOM\_W02:**

zna i rozumie główne tendencje rozwojowe algorytmów rekonstrukcji obrazów

Weryfikacja:

egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_01

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, I.P7S\_WK

**Charakterystyka TOM\_W03:**

w pogłębionym stopniu zna zagadnienie problemu odwrotnego i wybrane metody i algorytmy optymalizacji

Weryfikacja:

egzamin,
zadania laboratoryjne

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_04, W\_03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka TOM\_W04:**

zna i rozumie prawne i społeczne uwarunkowania działalności zawodowej zwią¬za¬nej z projektowaniem systemów obrazujących

Weryfikacja:

egzamin pisemny

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_02, W\_05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, I.P7S\_WK, III.P7S\_WG, III.P7S\_WK

**Charakterystyka TOM\_W05:**

ma wiedzę ogólną z zakresu podstaw fizycznych, zasady działania i budowy urządzeń tomograficznych

Weryfikacja:

egzamin,
zadania laboratoryjne

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

**Charakterystyka TOM\_W06:**

ma wiedzę ogólną z zakresu podstaw fizycznych, zasady działania i budowy urządzeń tomograficznych

Weryfikacja:

egzamin,
zadania laboratoryjne

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** W\_03

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_W, I.P7S\_WG.o, III.P7S\_WG

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka TOM\_U01:**

potrafi zaprojektować i zaimplementować algorytm rekonstrukcji obrazów tomograficznych w wybranym języku programowania

Weryfikacja:

zadania laboratoryjne, sprawozdanie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** U\_02, U\_03, U\_04, U\_07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o, I.P7S\_UK, I.P7S\_UO, I.P7S\_UU

**Charakterystyka TOM\_U02:**

potrafi wyznaczyć model numeryczny pomiaru tomograficznego i zrealizować symulację numeryczną projekcji tomograficznych

Weryfikacja:

zadania laboratoryjne, sprawozdanie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** U\_02, U\_03, U\_07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o, I.P7S\_UO, I.P7S\_UU

**Charakterystyka TOM\_U03:**

potrafi wykonać pomiary testowe i zweryfikować jakość obrazów tomograficznych

Weryfikacja:

zadania laboratoryjne, sprawozdanie

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** U\_02, U\_04, U\_07

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_U, I.P7S\_UW.o, III.P7S\_UW.o, I.P7S\_UK, I.P7S\_UO, I.P7S\_UU

### Profil ogólnoakademicki - kompetencje społeczne

**Charakterystyka TOM\_K01:**

potrafi komunikować się na tematy specjalistyczne ze zróżnicowanymi kręgami odbiorców

Weryfikacja:

obserwacja, ocena aktywności podczas zajęć

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_02

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** P7U\_K, I.P7S\_KK, I.P7S\_KO